**陕 西 省 地 方 标 准**

**《低渗透油藏内源微生物激活驱油技术规范》**

**编 制 说 明**

**一、工作概况**

陕西省北部区域资源丰富，拥有超过50亿吨的石油地质储量，年产原油两千万吨以上。由于油层地质条件较差，油田所处地区水资源匮乏，生态环境脆弱，油田的高效开发与生态环境协调可持续发展的矛盾较为突出，现有常规技术高效开采难度大，资源动用程度低。如何进一步提高采收率，实现高效绿色开发是本区域油田面临的重大技术难题。激活油藏内源微生物驱油技术向油藏注入**以食品制造业残渣等为主要来源的内源微生物激活剂，**靶向激活油藏驱油功能菌群，利用其生长代谢产生表面活性剂、乳化剂、生物气和小分子有机酸等，改善油藏驱油环境的同时大幅度提高原油采收率。该技术利用油藏自身微生物资源，油藏适应性强，作用时间长，驱油效果好；工序简单，成本低；激活剂及微生物产物均可生物降解，不损害地层，温和无环境污染等优势，**属于绿色低碳提高采收率技术范畴。**

国内针对油藏内源微生物驱油技术的研发和矿场应用投入不断加大。目前利用本项技术提高原油采收率的企业有延长油田、长庆油田、胜利油田、吉林油田、大庆油田、新疆油田、大港油田、渤海油田等。陕西省内分布长庆和延长两大油田，其所处的鄂尔多斯盆地低渗/特低渗透油藏地质储量丰富，油藏内源微生物资源丰富，开发潜力巨大。延长石油自2016年开展低渗透油藏内源微生物驱油技术以来，先后在杏子川、吴起、子长开展矿场应用，并在杏子川建立内源微生物驱示范区，取得了可观的经济效益，并将开展“内源微生物驱油试验田”的进一步扩大化工业应用。长庆油田在王窑、靖安、胡尖山等油田陆续开展该技术矿场应用。内源微生物驱油技术将油藏自身生物资源与油田开发相结合，应用前景广阔，**已成为各大油田提高原油采收率技术的主力军**。

油藏内源微生物驱油技术关键在于针对油藏物性和流体特点，筛选优化激活剂对油藏核心驱油功能菌群进行靶向激活，使其尽可能多的产生驱油物质，改善油藏驱油环境。此外，油藏中绝大部分进行厌氧微生物代谢，且该代谢过程集中在油藏中后部剩余油富集区域。如何靶向激活厌氧微生物代谢在微生物采油过程中的驱油作用亦是技术关键点。尤其是针对陕西所处鄂尔多斯盆地低渗透油藏特征，提高原油采收率的关键机理为乳化原油、提高原油流动性，补充地层能量等。靶向激活该区油藏内源烃氧化菌和甲烷产生菌加大表面活性剂、小分子酸和生物气产生量，在此基础上，通过厌氧代谢调控厌氧乳化菌进一步乳化原油，**符合该区驱油技术要求。**

内源微生物驱油是一项**技术密集型提高采收率技术**，包括微生物工程、生物化学工程、地质工程、油藏工程、采油工程等多专业。不断深入研究、创新和规范低渗透油藏内源微生物驱油技术，符合陕西省油气产业绿色高效可持续性开发需求。作为绿色低碳提高采收率技术，内源微生物驱油技术矿场实践不断加深，油藏应用范围不断扩大，但**国内外针对低渗透油藏内源微生物激活驱油技术的国家标准、行业标准、地方标准缺乏**。内源微生物激活驱油缺乏技术指导，难以满足研究和生产实际需要，有必要及时制定适合本地区的内源微生物激活驱油技术规范，以推进油藏内源微生物驱油技术的标准化、规范化。该标准有利于推动低渗透油藏内源微生物驱油技术的规范化应用，在当前“双碳”背景下，**有利于强化绿色低碳提高采收率技术研究**，对传统油气生产行业碳减排具有重要意义。有利于指导陕西省鄂尔多斯盆地内源微生物驱油技术的推广和应用，也能极大的提升陕西省在绿色高效油田开发技术领域的知名度，起到技术示范作用。

本标准制订任务下达后，陕西延长石油（集团）有限责任公司积极组织，成立标准编写领导小组，明确标准编写任务。陕西延长石油（集团）有限责任公司标准编制组在调研了部分能源企业和相关科研院校的基础上，开始起草标准。各编写人员就标准内容进行了认真讨论，并邀请相关知名专家提供建设性的意见和建议。针对标准的编写，我们多次与省质监局标准化处、省能源局、省国资委领导进行请教、交流，为标准的制订明确了方向、确立了构架。而后，我们就标准起草中的意见和建议，分析比对，借鉴其他地方标准经验、查阅资料，向省内石油研发单位及一线技术人员了解现状，确定标准草案，经多次修改完善形成标准征求意见稿。

标准起草小组成员为倪军、魏登峰、高怡文、王维波、王维波、金志、薛媛、赵丽、康宵瑜、方晓君、王成俊、崔凯、武思拓、张永欣等十三人。倪军为项目负责人，负责标准的立项，技术分析评价、标准起草。魏登峰主要负责标准资料调研和现行标准的收集。高怡文主要负责标准中试验方法的编写。王维波主要负责试验方法的验证和标准文件的编写。江绍静主要负责标准资料收集和油藏条件的确定。金志主要进行测试指标分析和有氧激活方法验证。薛媛主要负责厌氧激活方法验证。赵丽主要负责标准的校对及标准格式校核。康宵瑜主要进行激活剂筛选方法的验证。方晓君主要进行意见汇总和标准修改工作。王成俊主要负责激活剂筛选指标中微生物浓度的测试验证。崔凯主要负责激活剂筛选指标中配伍性和激活体系表面张力等测试验证。驱油效率测试和生物降解度等试验方法的验证。武思拓主要负责驱油效率测试验证。张永欣主要负责驱油效率计算验证。

2023年1月，陕西省市场监督管理局关于下达《关于征集2023年陕西省地方标准制修项目的通知》（陕市监函〔2022〕1022号）。依据GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的标准编写要求，本标准编制组对《低渗透油藏内源微生物驱油技术室内实验及评价技术规范》标准开展了相关编制工作，并完成了《低渗透油藏内源微生物驱油技术室内实验及评价技术规范》地方标准（草案）。

2023年2月，本编制组提交了立项申请书和标准草案。

2023年4月，标准编制组参加“2023年度陕西省地方标准立项评审会”，并通过立项评审。

2023年5月至2024年8月，标准制定组经多次讨论会，对标准草案进行讨论，并根据专家意见，形成《低渗透油藏内源微生物驱油技术室内实验及评价技术规范》（征求意见稿）。

**二、标准编制原则和主要内容**

本标准根据标准化工作导则GB 1.1-2009编写规定进行编写，符合以下原则：

1、科学合理，技术先进，积极采用国内外先进技术方法、标准；

2、目的明确，有利于促进技术进步，提高科研水平；

3、经济适用，有利于合理利用资源，提高经济效益；

4、安全可靠，可操作性强，符合各方利益要求；

5、符合国家的政策，贯彻国家的法律法规。

**三、标准编制的主要内容**

本标准征求意见稿内容共8章，第1章规定了标准的适用范围；第2章为本标准的规范性引用文件；第3章为术语；第4～8章为低渗透油藏内源微生物驱油技术室内实验及评价技术规范，依次为油藏适用范围、油藏适应性评价、内源微生物激活、内源微生物激活剂筛选及内源微生物驱油等。

**四、主要实验（或验证）情况分析**

1、确定标准主要内容的论据

本标准参照了中华人民共和国国家标准和石油天然气行业标准，并结合油藏内源微生物驱油技术室内研究的实际特点以及低/特低渗透（鄂尔多斯盆地陕北斜坡）油藏地质条件，确定了本标准的主要内容。

本标准制定过程中参照的主要标准见表1。

表1 参照标准

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 标准号 | 标准内容 |
| 1 | GB/T 609-2018 | 化学试剂总氮量测定通用方法 |
| 2 | GB/T 6920-1986 | 水质 pH值的测定 玻璃电极法 |
| 3 | GB/T 11893-1989 | 水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法 |
| 4 | GB/T 29172-2012 | 岩心分析方法 |
| 5 | SY/T 0532-2012 | 油田注入水细菌分析方法 绝迹稀释法 |
| 6 | SY/T 5329-2012 | 碎屑岩油藏注入水水质指标及分析方法 |
| 7 | SY/T 5370-2018 | 表面及界面张力测定方法 |
| 8 | SY/T 5523-2016 | 油田水分析方法 |
| 9 | SY/T 5579.1-2008 | 油藏描述方法第1部分：总则 |
| 10 | SY/T 6888-2012 | 微生物驱油技术规范 |

2、本标准涉及的实验检测内容及方法

①本标准涉及的检测和实验内容

本标准涉及的主要检测和实验内容包括：地层水和注入水中烃氧化菌、甲烷产生菌和硫酸盐还原菌浓度；内源微生物有氧激活；内源微生物无氧激活；激活体系表面张力；激活体系C2～C4挥发性脂肪酸（乙酸、丙酸和丁酸）浓度；驱油效率。

②本标准涉及检测和实验的测试方法

地层水和注入水中烃氧化菌、甲烷产生菌和硫酸盐还原菌浓度：结合低渗透油藏内源微生物种类特性，烃氧化菌和甲烷产生菌参考SY/T 6888-2012中附录A烃氧化菌、反硝化菌、产甲烷菌和厌氧发酵菌的分析方法执行（剔除附录A中反硝化菌和厌氧发酵菌浓度测试）。硫酸盐还原菌参照SY/T 0532-2012的分析方法执行。

内源微生物有氧激活：结合低渗透油藏温度、矿化度等物性，通过震荡、恒温孵育箱匀速转动等通的方式，模拟近井地带有氧和微氧环境，激活好氧驱油功能微生物，并将好氧驱油功能微生物-烃氧化菌浓度、激活体系表面张力以及有氧激活代谢产物乙酸作为有氧激活过程监测和激活效果评价指标。

内源微生物无氧激活：结合低渗透油藏温度、矿化度等物性，通过除氧、厌氧瓶静止培养，模拟远井地带无氧环境，激活厌氧驱油功能微生物，并将主要厌氧驱油功能微生物-甲烷产生菌浓度、无氧激活代谢产物C2～C4挥发性脂肪酸和原油乳化作为无氧激活过程监测和激活效果评价指标。

激活体系表面张力：表面张力的测定按SY/T 5370-2018中7.2.1圆环法测定表面张力执行。

激活体系C2～C4挥发性脂肪酸浓度：采用外标法将被测样品与标准样品分别进行气相色谱分析，通过标准样品标准曲线，计算并得到测试样品中C2～C4挥发性脂肪酸浓度。

驱油效率：参考SY/T 6424-2000中7复合驱油体系物理模拟驱油效果测试执行。

3、本标准涉及的部分实验方法的验证

（1）烃氧化菌、甲烷还原菌和硫酸盐还原菌浓度测试

对本标准适用的陕北鄂尔多斯盆地低（特低）渗透油藏地层水、注入水中的烃氧化菌（HOB）、甲烷还原菌（MPB）和硫酸盐还原菌（SRB）进行浓度测定。测试样品来自延长低渗透油田长2、长6油藏地层水和注入水。测定结果见表2。

表2 HOB、MPB和SRB浓度测定方法验证结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 样品类型 | | 地层水 | | | 注入水 | | |
| 菌种类型 | | HOB | MPB | SRB | HOB | MPB | SRB |
| 浓度测定  （x102cfu/mL） | 平行样1 | 1.35 | 0.78 | 21.23 | 1.01 | 0.24 | 10.07 |
| 平行样2 | 1.39 | 0.65 | 21.18 | 1.07 | 0.32 | 10.01 |
| 平均值（x102cfu/mL） | | 1.37 | 0.72 | 21.20 | 1.04 | 0.28 | 10.04 |
| 绝对偏差（x102cfu/mL） | | 0.02 | 0.06 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.03 |

从表2结果来看，对于地层水和注入水样品中的HOB、MPB和SRB浓度测定结果的绝对偏差为0.02～0.07％，小于1％，说明将该实验方法用于低渗透油藏产出水和地层水中驱油功能微生物、SRB浓度测试是比较可靠的。

（2）内源微生物有氧激活和无氧激活试验

现行标准中，还未形成关于油藏内源微生物激活实验的规范性指导。本标准以陕北鄂尔多斯盆地低（特低）渗透油藏为基础，选取杏子川采油厂6109注水区产出液为实验用水，矿化度32000mg/L，pH6.8，氯化钙水型。实验用原油为延长组长6原油，20℃下密度0.85g/cm3，粘度93mPa.s。油藏温度为30℃。内源微生物实验用激活剂为激活剂A（蜜糖0.4%、玉米浆干粉0.5%，硝酸钠0.4%）。

内源微生物激活实验第一步，模拟近井地带有氧或微氧环境，加入微生物营养物质体系，激活该区域的主要好氧驱油功能微生物，产生生物表面活性剂、小分子酸等驱油功能代谢产物。将激活剂、地层水按照1:9体积比混合，加入原油（质量百分比为1%），30℃条件下，转速为180rpm条件下摇动通气，培养7天。在此过程中监测HOB、激活体系表面张力和乙酸浓度变化（表3）。

表3 有氧激活监测指标测定方法验证结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 监测指标 | | HOB浓度（x102cfu/mL） | 激活体系表面张力（mN/m） | 乙酸浓度 (mg/L) |
| 第0天 | 未激活样品 | 1.37 | 63.17 | 50.08 |
| 监测指标 | | HOB浓度（x106cfu/mL） | 激活体系表面张力（mN/m） | 乙酸浓度 (mg/L) |
| 第3天 | 平行样1 | 0.297 | 40.19 | 190.98 |
| 平行样2 | 0.278 | 40.15 | 190.86 |
| 平均值 | 0.287 | 40.17 | 190.92 |
| 绝对偏差 | 0.01 | 0.002 | 0.06 |
| 第7天 | 平行样1 | 1.312 | 23.31 | 669.97 |
| 平行样2 | 1.207 | 23.20 | 670.08 |
| 平均值 | 1.250 | 23.25 | 670.02 |
| 绝对偏差 | 0.04 | 0.005 | 0.05 |

从表3结果来看，对于有氧激活监测指标HOB浓度、激活体系表面张力和乙酸浓度测定结果的绝对偏差为0.01～0.06，小于1％，说明将该实验方法用于有氧激活体系中的HOB浓度、激活体系表面张力和乙酸浓度是比较可靠的。在添加最佳激活剂条件下，内源微生物有氧激活后，HOB浓度增加至1.25 x106cfu/mL，激活体系表面张力降低了57.02%，有氧激活代谢产物乙酸的浓度增加了13.40倍，有氧激活效果良好。

内源微生物激活实验第二步，模拟远井地带无氧环境，激活该区域的主要厌氧驱油功能微生物，产生小分子酸、乳化剂等驱油功能代谢产物。在有氧激活体系中，继续加入激活剂A，原油（激活剂A、原油、有氧激活体系体积比1:1:8），置于厌氧培养瓶中，厌氧瓶中用高纯氮气除氧。30℃条件下，静置培养10天。在此过程中监测MPB、C2～C4挥发性脂肪酸浓度变化和激活体系乳化性能情况（表4）。

表4 无氧激活监测指标测定方法验证结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 监测指标 | | MPB浓度  （x102cfu/mL） | C2～C4挥发性脂肪酸浓度  (mg/L) | SRB  （x102cfu/mL） |
| 第0天 | 有氧激活样品 | 0.72 | 792.06 | 21.20 |
| 监测指标 | | MPB浓度  （x104cfu/mL） | C2～C4挥发性脂肪酸浓度  (mg/L) | SRB  （x102cfu/mL） |
| 第3天 | 平行样1 | 0.785 | 2769.96 | 1.345 |
| 平行样2 | 0.779 | 2770.03 | 1.349 |
| 平均值 | 0.782 | 2769.99 | 1.347 |
| 绝对偏差 | 0.003 | 0.04 | 0.02 |
| 第10天 | 平行样1 | 2.456 | 2587.01 | 1.077 |
| 平行样2 | 2.449 | 2587.07 | 1.075 |
| 平均值 | 2.452 | 2587.04 | 1.076 |
| 绝对偏差 | 0.004 | 0.03 | 0.01 |

从表4结果来看，对于无氧激活监测指标MPB浓度、激活体系表面张力、C2～C4挥发性脂肪酸浓度、乳化指数、激活体系中SRB浓度的测定结果的绝对偏差为0.01～0.04，小于1％，说明将该实验方法用于有氧激活体系中的MPB浓度、激活体系表面张力、C2～C4挥发性脂肪酸浓度、乳化指数和激活体系SRB浓度测定是比较可靠的。在有氧激活后，添加最佳激活剂条件下，内源微生物无氧激活体系中的MPB度增加至2.452 x104cfu/mL，激活体系表面张力降低至未激活前的36.50%，C2～C4挥发性脂肪酸浓度增加了3.27倍，激活体系最终乳化指数为98.83%，乳化性能良好。同时，有害微生物SRB的浓度降低1.97倍。试验验证结果说明，在最佳激活剂条件下，通过有氧和无氧激活，地层水中油藏内源驱油功能微生物浓度大幅度增高，驱油功能代谢产物增多，有害菌被抑制。

（3）无氧激活体系原油乳化效果评分

无氧激活体系原油乳化测试及效果评分验证如表5。

表5 无氧激活原油乳化验证结果

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 分值 | 指标 | 无氧激活体系原油乳化图 |
| 0 | 无效。油水分层明显，下层水相清澈，摇晃后油珠颗粒大小与激活前一致。 |  |
| 1 | 见效。摇晃后油水少量互溶，油珠颗粒较激活前小；或者油相体积明显增加。 |  |
| 2 | 效果较好。摇晃后油水能够部分互溶，下层水相颜色加深，油珠颗粒较激活前小。 |  |
| 3 | 效果好。摇晃后油水能够部分混溶，两相分层较慢。下层水相颜色为褐色或黄褐色，油珠颗粒直径为1～2mm。 |  |
| 4 | 效果很好。摇晃后油水大部分混溶，两相分层更慢。下层水相为深褐色。 |  |
| 5 | 效果最好。轻微摇晃后油水完全混溶，油水分界线不明显或无油水分界线。混相后，静止较长时间不分层，油相为细末状，颜色为土黄色，原油不沾壁。 |  |

（4）驱油效率测试方法验证

驱油效率测试是内源微生物驱油技术室内研究与评价的最重要环节，本单位做了大量的试验研究，涵盖了不同渗透率岩心（渗透率为10x10-3μm～50 x 10-3μm）不同种类、浓度、注入体积等激活剂等。选取激活剂A（蜜糖0.4%、玉米浆干粉0.5%，硝酸钠0.4%）的驱替结果，水驱效率为73.8％，间歇注入激活剂A溶液0.5PV，进行水驱，至采出液含水98%以上；依次再注入激活剂A溶液0.3PV和注入水，最后注入激活剂A溶液0.1PV，接着水驱至含水100％。最终驱油效率为84.2％，相对于水驱，提高采收率10.4个百分点。驱替曲线如图4所示。

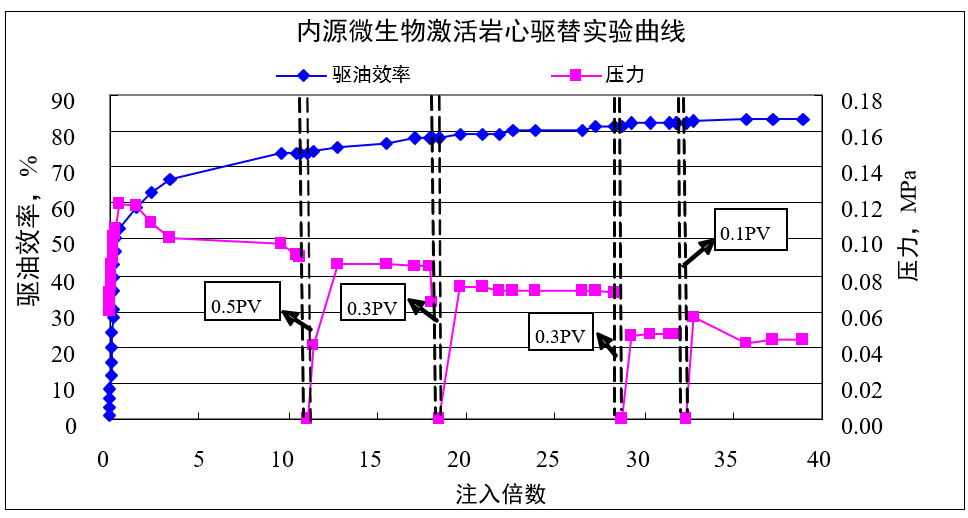


图1 内源微生物激活驱替曲线

**五、征求意见情况**

暂无。

表5-1 意见汇总及采纳情况

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 意见章条及原标准内容 | 修改意见及依据 | 提出  单位 | 意见  处理 |
|  |  |  |  |  |

**六、产业化情况，推广运用论证和预期达到的经济效果情况**

1、本标准编制填补了我省低渗透油藏内源微生物驱油技术规范的空白，完成后预期达到国内先进水平，对推进我省低渗透油藏内源微生物驱油体系标准化具有重要促进作用。

2、本标准对陕西省提高鄂尔多斯盆地低渗透油气藏开发水平具有重要意义。

3、本标准具有公正性、合理性和科学性，预计可产生十分巨大的社会效益和经济效益。

**七、知识产权说明**

任何单位使用本标准所产生的知识产权归该单位。

**八、采标情况**

无

**九、与现行相关法律法规、规章及现行有效标准的协调性**

本标准与现行法律、法规和强制性标准没有冲突。

**十、重大分歧意见的处理经过和依据**

本标准送审稿是经多人多次讨论、协商、统一形成的，目前无重大分歧意见，同时欢迎相关领导、专家提出宝贵意见和建议，以完善标准，促进我省低渗透油藏产业的发展。

**十一、标准性质的建议说明（推荐性标准还是强制性标准）**

由于该标准为技术性标准，建议成为推荐性标准。

**十二、贯彻标准的要求、措施和建议**

1、加强宣传，做好宣传培训，使全省相关生产企业和科研机构掌握标准的各项技术要求，加强示范推广，使标准的应用真正落到实处。

2、对标准执行情况进行跟踪调查，及时发现标准执行中的问题，不断修改完善，提升标准水平，提高标准的科学性、合理性、协调性和可操作性。

**十三、废止现行相关地方标准的建议**

无。

**十四、其他应予以说明的事项**

无。